

DOI: 10.17516/1999-494X-0252

УДК 620.9

Influence of Renewable Energy on Energy Security of Decentralized Electricity Systems

Boris V. Lukutin^a, Violetta R. Kiushkina^{*b}

*^aNational Research Tomsk Polytechnic University
Energy Engineering School
Tomsk, Russian Federation*

*^bChukotka branch of North-Eastern Federal University
Scientific and educational center "Circumpolar Chukotka"
Anadyr, Russian Federation*

Received 28.02.2020, received in revised form 22.05.2020, accepted 15.07.2020

Abstract. The article offers evaluation of the potential of renewable energy in improving the energy security of decentralized power supply systems and solving the problems of their development. The authors proposed a complex of indicative indicators with introduction of renewable energy sources as part of separate indicators, which allows us to research the energy security problems of regional decentralized energy systems of power supply. In the rationale for each indicator the place of renewable energy sources in aspects of resource security, the level of reliability of autonomous power supply systems, environmental and other positions of energy security have been shown. The proposed module of indicators with introduction of renewable energy includes a science-based list of criteria, methods and tools for their evaluation with the focus of measures to ensure energy security by means of integrating into autonomous power supply systems of renewable energy plants. The article traces the matching of the proposed approaches with the place of renewable energy in strategic planning documents in the national security of the Russian Federation.

Keywords: energy security, decentralized power supply systems, renewable energy group indicators.

Citation: Lukutin B.V., Kiushkina V.R. Influence of renewable energy on energy security of decentralized electricity systems, J. Sib. Fed. Univ. Eng. & Technol., 2020, 13(5), 632-642. DOI: 10.17516/1999-494X-0252

© Siberian Federal University. All rights reserved

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0).

* Corresponding author E-mail address: lukutin48@mail.ru, vr.kiushkina@s-vfu.ru

Влияние возобновляемой энергетики на энергетическую безопасность децентрализованных систем электроснабжения

Б.В. Лукутин^а, В.Р. Киушкина^б

*^аНациональный исследовательский
Томский политехнический университет*

Инженерная школа энергетики

Российская Федерация, Томск

*^бЧукотский филиал Северо-Восточного
федерального университета*

Научно-образовательный центр «Циркумполярная Чукотка»

Российская Федерация, Анадырь

Аннотация. Статья предлагает оценку возможностей возобновляемой энергетики в повышении энергетической безопасности децентрализованных систем электроснабжения и решения проблем их развития. Предложена совокупность индикативных показателей с участием возобновляемых источников энергии в составе отдельных показателей, позволяющих исследовать проблемы энергетической безопасности региональных децентрализованных энергетических систем электроснабжения. В обосновании каждого индикатора показано место возобновляемых источников энергии в аспектах ресурсной обеспеченности, уровня надежности автономных систем электроснабжения, экологических и других позиций энергетической безопасности. Предложенный модуль индикаторов с участием возобновляемой энергетики включает научно обоснованный перечень критериев, методов и инструментария их оценки с направленностью мер по обеспечению энергетической безопасности через интеграцию в автономные системы электроснабжения установок возобновляемой энергетики. В статье отслеживается согласование предлагаемых подходов с местом возобновляемой энергетики в документах стратегического планирования в сфере национальной безопасности РФ.

Ключевые слова: энергетическая безопасность, децентрализованные системы электроснабжения, индикаторы группы возобновляемой энергетики.

Цитирование: Лукутин, Б.В. Влияние возобновляемой энергетики на энергетическую безопасность децентрализованных систем электроснабжения / Б.В. Лукутин, В.Р. Киушкина // Журн. Сиб. федер. ун-та. Техника и технологии, 2020. 13(5). С. 632-642. DOI: 10.17516/1999-494X-0252

Материалы и методы

Энергетическая безопасность децентрализованных энергетических зон [1] – это обеспечение самодостаточности объектов локальной энергетики с защитой их жизненно значимых функций и сопутствующих систем (топливно-логистической цепи, экологической и экономической обеспеченности, доступности электрической энергии, природно-ресурсной ориентации, эксплуатационной надежности) в условиях ситуативных факторов изолированности и аномальных проявлений суровости климата.

Анализ методологических основ энергетической безопасности [1, 2] показал перспективность ее количественной оценки путем определения и анализа индикативных показателей, характеризующих различные аспекты состояния автономной системы электроснабжения

(АСЭС) децентрализованного объекта. Индикативные показатели группируются в следующие блоки: блок обеспеченности электрической энергией потребителей децентрализованной зоны, блок ресурсной (топливно-энергетической) обеспеченности системы энергоснабжения децентрализованной зоны, блок надежности топливно- и энергоснабжения децентрализованной зоны, блок состояния ОПФ АСЭС децентрализованной зоны, экологический блок, финансово-экономический блок, блок энергосбережения и энергоэффективности. Методология существующих исследований [2, 4-7] предлагает оценку ТЭК и степени достижения совокупности требований энергетической безопасности со стороны анализа традиционных топливных ресурсов и соответствующих генерирующих источников энергии.

Среди возможных способов повышения энергетической безопасности децентрализованных объектов, находящихся в удаленных районах с суровым климатом и неразвитой инфраструктурой, выделим интеграцию в автономные (обычно дизельные) системы электроснабжения установок возобновляемой энергетики (ВИЭ): ветровые и солнечные электростанции. Следует отметить, что возможности электрификации автономного объекта только от возобновляемых энергоисточников в большинстве случаев существенно ограничены временной нестабильностью потенциала ВИЭ.

Обычно схемные решения гибридных солнечно-дизельных и ветродизельных электростанций строятся по двум основным вариантам взаимодействия дизельной и солнечной (или ветровой) составляющих: раздельная или параллельная работа указанных энергоустановок на нагрузку. Специфика построения гибридных электростанций и, соответственно, гибридных систем электроснабжения оказывает влияние на характеристики энергетической безопасности таких систем.

Введение в дизельную систему фото- или ветроэлектростанции приводит к экономии дизельного топлива, однако увеличивает установленную мощность, стоимость энергетического оборудования гибридной системы, влияет на надежность и режимы работы составляющих энергетического комплекса. Соответственно, изменяются количественные характеристики части индикативных показателей, характеризующих состояние энергетической безопасности гибридной системы электроснабжения.

Рассмотрим основные варианты гибридных систем электроснабжения с участием ВИЭ. Структурные схемы таких систем приведены на рис. 1.

На рис. 1 приняты обозначения: ФП – фотоэлектрические преобразователи; НЭ – накопители электрической энергии; БИ – батарейный инвертор; СИ – сетевой инвертор; U – напряжение на нагрузку; N – нагрузка.

Раздельная работа ФЭС и ДЭС (рис. 1а) обеспечивает максимальную экономию дизельного топлива за счет выработки ФЭС без принципиальных ограничений ее установленной мощности и, соответственно, продлевает срок службы дизельных агрегатов. Такая схема обычно применяется для фотодизельных энергетических комплексов относительно небольшой мощности, до 100÷120 кВт. Ограничением установленной мощности является высокая стоимость и эксплуатационные ограничения аккумулирующего оборудования.

Вариант параллельной работы ФЭС и ДЭС (рис. 1б) предусматривает постоянную работу ДЭС с замещением части дизельной генерации энергией фотоэлектрической станции. Достоинством данной схемы служит возможность максимального использования установленной мощности ФЭС без использования накопителей электроэнергии, что позволяет экономить на

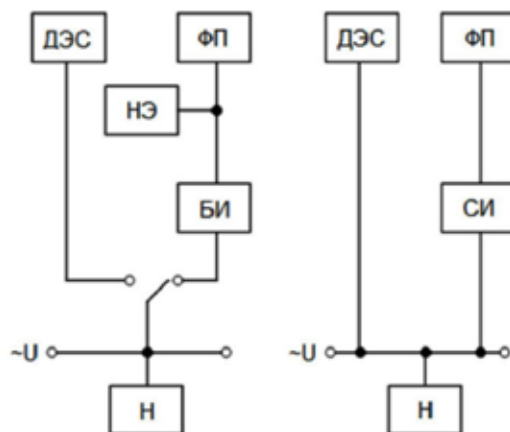


Рис. 1а, б. Структурные схемы построения гибридных систем электроснабжения на примере фотодизельных энергетических комплексов

Fig. 1а, б. Structural diagrams of the construction of hybrid power supply systems based on the example of photo-diesel energy complexes

оборудовании. В большей степени это проявляется при построении энергетических комплексов мегаваттного класса.

Недостаток совместной работы дизельной и солнечной электростанций на нагрузку – принципиальная необходимость ограничения, по условиям устойчивости, мощности сетевого инвертора ФЭС и, соответственно, генерации ФЭС, на уровне менее половины текущей мощности генерации дизельной составляющей гибридного энергетического комплекса. Условие устойчивости сетевого инвертора ограничивает допустимый вклад солнечной электроэнергии в суммарную выработку гибридной СЭС с соответствующими ограничениями на технико-экономические характеристики гибридной фотодизельной электростанции.

Рассмотренные структурные схемы и их режимы работы позволяют оценить влияние возобновляемой энергетики на показатели энергетической безопасности дизельных систем электроснабжения.

1. Индикаторы блока обеспеченности электроэнергией потребителей децентрализованной СЭС

Индикаторы данного блока характеризуют электропотребление децентрализованной системы электроснабжения, оценивают риски снижения «доступности электроэнергии» и не зависят напрямую от интеграции в нее установок возобновляемой энергетики.

2. Блок «Ресурсная (топливно-энергетическая) обеспеченность системы энергоснабжения децентрализованной зоны» содержит индикаторы, характеризующие ВИЭ

Следует отметить, что присутствие показателей возобновляемой энергетики в оценке и задачах обеспечения энергетической безопасности согласуется с отдельными позициями и вниманием к ВИЭ, обозначенными в разделах Доктрины энергетической безопасности РФ [3], утвержденной 13 мая 2019 г.

Таблица 1. Определение пороговой градации индикатора

Table 1. Determination of the threshold gradation of the indicator

Вид ВИЭ	Состояние территории по данному индикатору, в зависимости от характеристического показателя потенциала		
	обеспеченное	перспективное	малоэффективное
Ветровой потенциал среднегодовая скорость ветра	4-7 м/с / малая энергоёмкость потребителей	более 7 м/с / объекты малой энергетики	менее 3 м/с
Солнечный потенциал продолжительность солнечного сияния	1700-2000 ч/г	более 2000 ч/г	Малая плотность солнечной энергии, приходящаяся на горизонтальную поверхность территории

2.1. Коэффициент обеспеченности возобновляемыми ресурсами децентрализованной зоны

Данный индикатор введен для выявления территорий с возможностью использования местных возобновляемых энергоресурсов в децентрализованных СЭС. Степень обеспеченности территории данным энергоресурсом определится его потенциалом с географической привязкой к децентрализованной зоне.

На стадии оценки территорий по данному показателю возможно предложение следующих градаций пороговых значений данного индикатора (табл. 1).

Энергетический потенциал ВИЭ в районе рассматриваемой АСЭС влияет на структуру ее построения. Очевидно, что чем более высок энергетический потенциал ВИЭ территории, тем больший вклад в энергообеспечение АСЭС могут вносить энергоустановки возобновляемой энергетики по отношению к дизельной генерации. Следовательно, приоритетной структурой гибридной энергоустановки становится энергетический комплекс с раздельной работой дизельной и возобновляемой частей. При меньших уровнях энергетических характеристик ВИЭ определенные преимущества имеет гибридная АСЭС с параллельной работой дизельной и возобновляемых частей.

Детализировать данный индикатор в оценке полноты использования возможностей и востребованности потенциала ВИЭ территории целесообразно в других блоках. Так, взаимосвязь с эффективностью децентрализованных систем электроснабжения за счет применения генераций на основе ВИЭ может быть представлена такими показателями, как: «Доля объема производимой электроэнергии установками на основе ВИЭ к потенциальной доле возможного объема производства электроэнергии на основе ВИЭ в общем производстве электрической энергии», «КИУМ установок на основе ВИЭ».

Числовые значения градации пороговых значений данных показателей могут определяться только перспективными планами самого региона в общей оценке достижения заданных эффектов при обеспечении энергетической безопасности либо общими прогнозными диапазонами пороговых значений в составе показателей федерального уровня.

Обращение к Доктрине энергетической безопасности РФ [3] в разделе вызовов и угроз энергетической безопасности показывает распространение технологий использования ВИЭ в качестве трансграничного вызова. Рассмотрение понятия вызова энергетической безопасности

в данном контексте по отношению к автономному электроснабжению представляет собой стимул к развитию энергетики децентрализованной энергозоны.

2.2. Коэффициент привлекательности развития ВИЭ для децентрализованной зоны

Данный показатель является итоговым в индикативной оценке ЭНБ по показателям потенциала ВИЭ [8]. Основными факторами, способствующими росту перспективности индекса, служат стоимость внедрения технологий возобновляемой энергетики, определенность и присутствие долгосрочной энергетической политики в регионе. Инструментарий оценки индикатора основан на анализе поведения коэффициента привлекательности в зависимости от влияющих факторов (1):

$$k_{\text{привлек ВИЭ}} = \sum_{i=1}^n \gamma_i F_i - \text{фактор присутствия привлекательности,} \quad (1)$$

$$k_{\text{от_привлек ВИЭ}} = \sum_{j=1}^n \gamma_j F_j - \text{фактор отсутствия привлекательности,}$$

где γ_{ij} – весовой коэффициент, отражающий относительную значимость i/j -го показателя в оценке подтверждения / отрицания коэффициента привлекательности развития ВИЭ территории, определяющийся методом анализа иерархий на основе субъективных суждений экспертов.

При этом $\sum \gamma_{i/j} = 100\%$;

F_i – показатели факторов, усиливающие привлекательность развития ВИЭ на территории:

$F_{\text{завоз_топ}}$ – показатель завоза топлива: многозвенный завоз с доступностью к топливным терминалам – принимаем за значение «0», многозвенный сезонно ограниченный завоз с высокой изолированностью – принимаем за значение «1»;

$F_{\text{деградОПФ}} = \alpha'_{\text{изнАСЭС}}$ – доля износа основных производственных фондов АСЭС;

$F_{\text{топ_ээ}}$ – доля топливной составляющей в стоимости электроэнергии;

$F_{\text{госп}}$ – наличие административной и государственной поддержки ВИЭ.

F_j – показатели факторов, отражающие непривлекательность развития ВИЭ на территории:

$$F_{\text{соц_д_тариф}} = \frac{\alpha'_{\text{соц_с/х}} \cdot \tau_{\text{ээ}}}{D_{\text{нас}}} - \text{платежеспособность населения;}$$

$F_{\text{себ_ээ}}$ – себестоимость производимого 1 кВт·ч электроэнергии;

$F_{\text{цэс}}$ – возможность подключения к централизованному электроснабжению: значение показателя при возможности подключения принимается за «1», при невозможности – «0»;

$F_{\text{топ ресурс}} = \alpha_{\text{топсоб}}$ – доля собственных источников в балансе топливных ресурсов АСЭС.

При определении весовых коэффициентов использован иерархический метод. При анализе матрицы парных сравнений для определения степени важности показателей привлекательности развития ВИЭ предпочтительность элементов определенного иерархического уровня определяется исходя из критериев «Повышение надежности АСЭС / Снижение затрат». Структура обоснования оценки привлекательности ВИЭ по указанным критериям приведена на рис. 2 [9].



Рис. 2. Структура обоснования оценки привлекательности ВИЭ

Fig. 2. The structure of the rationale for evaluating the attractiveness of renewable energy

Аналогично, с использованием критерия «Доступность типовых АСЭС без ВИЭ», выполняется процедура определения весовых коэффициентов показателей факторов отсутствия привлекательности ВИЭ. В результате получены следующие соотношения (2):

$$k_{\text{привлек ВИЭ}} = (0,403F_{\text{деградОПФ}} + 0,372F_{\text{завоз_топл}} + 0,178F_{\text{топ_эз}} + 0,049F_{\text{господ}}),$$

чем выше значение данного коэффициента, тем привлекательнее позиция развития ВИЭ (2)

$$k_{\text{от_привлек ВИЭ}} = (0,033F_{\text{соц_д_тариф}} + 0,166F_{\text{себ_эз}}) + (0,435F_{\text{цзс}} + 0,366F_{\text{топ ресурс}}).$$

3. Блок надежности топливо- и энергоснабжения децентрализованной зоны

Индикатор 3.1. Коэффициент структурной обеспеченности АСЭС децентрализованной зоны. Данный индикатор предназначен для характеристики необходимого резерва генерации в автономных системах для обеспечения периода профилактических работ и ТО по моторесурсу (время наработки на отказ), возникновения отказа и ремонтов генерирующего оборудования. По сути, рассматриваемый индикатор характеризует степень надежности электроснабжения децентрализованной зоны. Инструментарий измерения индикатора: отношение установленной мощности генерирующего оборудования АСЭС к максимуму зимней нагрузки.

Применительно к АСЭС с участием возобновляемой энергетики значение этого коэффициента определяется с учетом суммарной установленной мощности дизельной и возобновляемой составляющих гибридной электростанции. Для разных конфигураций гибридных АСЭС коэффициент структурной обеспеченности будет различным. Например, для электростанции с раздельной работой дизельной и возобновляемой частей (рис. 1а) данный коэффициент следует определять для суммарной установленной мощности дизельной и возобновляемой частей. Для параллельной работы дизельной и возобновляемой составляющих на автономную нагрузку (рис. 1б) по условиям функционирования сетевого инвертора энергетической безопасности ВИЭ в данном случае непосредственно не добавляет. Следовательно, коэффициент структур-

ной обеспеченности для данной конфигурации гибридной АСЭС соответствует ее дизельной составляющей.

Индикатор 3.2. Степень автоматизации и дистанционного управления ДЭС децентрализованной зоны. Дифференциация пороговых уровней этого показателя производится по степени автоматизации АСЭС. Чем выше степень исследуемого показателя, тем меньше потребуется обслуживающего персонала, тем быстрее и точнее предполагается сбор и контроль информации по показателям функционирования АСЭС, ниже вероятность ошибок, приводящих к нарушению надежности электроснабжения. Таким образом, ключевым параметром в оценке данного индикатора является показатель «скорости реакции на аварию».

Очевидно, что гибридные АСЭС с участием ВИЭ строятся по интеллектуальным технологиям, обеспечивающим высокий уровень данного индикатора.

Индикатор 3.3. Синтетический индикативный показатель обеспеченности потребителей запасами КПТ, моторного и дизельного топлива в децентрализованной зоне. Данный индикатор весьма значим для изолированных территорий северных регионов, его низкое или нулевое значение сразу поставит под угрозу существование людей в условиях сурового климата.

Инструментарий измерения индикатора: типовая расчетная формула по определению запасов топлива АСЭС по отношению к объемам его среднесуточного потребления.

$$\alpha'_{\text{топзапас}} = \frac{Z'_{\text{топфакт}}}{B'_{\text{ср.сутрасх}}} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где $Z'_{\text{топфакт}}$ – фактический запас топлива на дату, предшествующую началу навигационного периода, с учетом промежуточных внутренних логистических доставок; $B'_{\text{ср.сутрасх}}$ – среднесуточный расход топлива у потребителей децентрализованной зоны.

Дополнительным индикатором к данному является определение очень важного показателя – потенциальная обеспеченность потребности в топливе в условиях резкого похолодания для каждой децентрализованной зоны. Инструментарий его расчета и определения градации пороговых значений требуют отдельного внимания.

Гибридные АСЭС потребляют меньше топлива за счет частичного замещения дизельной генерации возобновляемыми энергоисточниками. Уровень замещения определяется энергетическим потенциалом ВИЭ территории и степенью его использования в конкретной конфигурации электростанций. Очевидно, из рассматриваемых основных схем построения гибридных электростанций большим уровнем замещения дизельного топлива обладает схема с раздельной работой дизельной и возобновляемой составляющих.

Также в детализации данного индикатора в других блоках должно быть уделено внимание изучению следующих факторов: доле энергоэффективного оборудования по преобразованию энергии топливных ресурсов; повышению эффективности использования топлива; объему электроэнергии, вырабатываемой энергоэффективным электрооборудованием.

Индикатор 3.4. Индикатор риска недопоставок топливно-энергетических ресурсов в децентрализованную зону (при чрезвычайных ситуациях, возникших вследствие природно-климатических факторов; при чрезвычайных ситуациях, возникших вследствие аварийных ситуаций на АСЭС).

Пороговые уровни данного индикатора для гибридной АСЭС с участием возобновляемой энергетики смягчаются в соответствии с вкладом в ее энергетический баланс «зеленой» электроэнергии.

4. Блок состояния ОПФ АСЭС децентрализованной зоны

Износ оборудования ДЭС в результате недостаточного инвестирования приводит к снижению надежности электроснабжения потребителей, диктует необходимость учета показателей степени износа энергетического хозяйства АСЭС.

Индикатор 4.1. Синтетический индикативный показатель степени износа ОПФ по АСЭС децентрализованной зоны. Инструментарий измерения индикатора: процент износа оборудования относительно его ресурса, получаемый из статистических отчетных данных в анализируемом периоде. Энергоустановки различной физической природы, объединенные в гибридных АСЭС, имеют существенно различные эксплуатационные ресурсы и требования к эксплуатации. В частности, фотоэлектрические модули имеют срок службы 20 и более лет при практически необслуживаемом режиме эксплуатации. Дизельные генераторы имеют определенный ресурс работы, измеряемый в мото-часах, при периодическом обслуживании и ремонтах. Соответственно, данный индикатор требует диверсификации в соответствии с исследуемым энергетическим оборудованием.

Индикатор 4.2. Объем ввода и реконструкции ОПФ энергохозяйств децентрализованной зоны по отношению к их первоначальной (восстановительной) стоимости. Инструментарий измерения индикатора: расчетная типовая формула по соотношению затраченных финансовых объемов на ввод и обновление ОПФ АСЭС к первоначально вложенным в них капиталовложениям в анализируемом периоде

$$\alpha'_{\text{вв ОПФ АСЭС}} = \frac{\Delta \text{ОПФ}'_{\text{АСЭС}}}{\text{ОПФ}'_{\text{АСЭС перв}}} \cdot 100\%, \quad (4)$$

где $\Delta \text{ОПФ}'_{\text{АСЭС}}$ – ввод и обновление ОПФ АСЭС в анализируемом периоде, руб.; $\text{ОПФ}'_{\text{АСЭС перв}}$ – первоначальная (восстановительная) стоимость ОПФ АСЭС децентрализованной зоны, руб.

Следует отметить, что использование возобновляемой энергетики связано с необходимостью значительных капиталовложений на строительство энергетических объектов при меньших затратах на эксплуатацию энергоустановок ВИЭ и большем сроке их эксплуатации. По этим причинам горизонт анализа финансового состояния гибридных АСЭС должен быть увеличен в соответствии с ресурсами генерирующего оборудования.

5. Экологический блок

Индикаторы данного блока дают экологическое обоснование природно-ресурсным индикаторам.

Индикатор 5.1. Удельные выбросы вредных (токсичных) веществ в атмосферу от ДЭС (иных генерирующих источников) децентрализованных зон на единицу площади территории. Инструментарий измерения индикатора: соотношение (3) числового значения выбросов вредных веществ в атмосферу к площади территории

$$\alpha_{\text{атм}} = \frac{V_{\text{выб.атм}}}{F}, \quad (5)$$

где $V_{\text{выб.атм}}$ – выбросы вредных веществ в атмосферу от объекта территории, т/год; F – площадь территории, км².

Очевидно, что значение данного индикатора для гибридной АСЭС будет уменьшаться пропорционально объему замещенного топлива. Индикаторами, дополняющими характеристики экологической безопасности, являются: «Уровень рекультивации территорий от отрицательного воздействия деятельности АСЭС на окружающую среду»; «Доля снижения экологических нарушений за счет внедрения ВИЭ»; «Соотношение показателей экологического следа от установок традиционного типа и на базе ВИЭ» как индикатор устойчивого развития в обеспечении экологической безопасности, соответствия степени АСЭС децентрализованной зоны емкости природных экосистем.

6. Финансово-экономический блок

Для гибридных АСЭС можно предложить дополнительный индикатор.

Индикатор 6.1. Отношение себестоимости генерируемой электроэнергии гибридной электростанцией к себестоимости электроэнергии дизельной генерации при прочих равных условиях.

Себестоимость электроэнергии гибридной электростанции может быть различной в зависимости от вида интегрируемого энергоресурса в конкретных условиях. Очевидно, приоритет должен отдаваться возобновляемому энергоресурсу, обеспечивающему минимальную себестоимость электроэнергии гибридной АСЭС. Данный индикатор характеризует экономическую целесообразность внедрения ВИЭ в АСЭС в конкретном районе и конкретных условиях эксплуатации.

Учитывая, что снижение себестоимости электроэнергии в гибридных АСЭС происходит за счет снижения эксплуатационных затрат, показательным будет индикатор доли снижения текущих затрат на децентрализованную энергозону за счет внедрения ВИЭ.

Основные задачи обеспечения ЭНБ соответствующего раздела Доктрины ЭНБ [3, 10] включают задачи по совершенствованию территориально-производственной структуры ТЭК, в составе которых обозначена задача экономически эффективного развития распределенной генерации, в том числе с использованием ВИЭ.

Заключение

Таким образом, вовлечение ВИЭ в процесс генерации электрической энергии децентрализованными системами электроснабжения может оказать заметное влияние на показатели энергетической безопасности. В этом смысле можно говорить о комплексной ценности ВИЭ в обеспечении ЭНБ децентрализованных территорий, которая будет характеризоваться сочетанием положительных эффектов и сопутствующих факторов, сопряженных с дополнительными расходами. Разработка ее концепции определяется множеством факторов в оценке общего преимущества диверсификации топливных ресурсов возобновляемыми и структуры АСЭС.

Список литературы / References

- [1] Lukutin B., Kiushkina V. Energy security of northern and arctic isolated territories, *E3S Web of Conferences Regional Energy Policy of Asian Russia*, 2019, 77, [01008]. [Electronic resource] – Access: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20197701008>
- [2] Куклин А.А., Мызин А.Л., Богатырев Л.Л., Пыхов П.А. и др. *Отраслевые и региональные проблемы формирования энергетической безопасности*. Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2008, 384 с. [Kuklin A.A., Myzin A.L., Bogatyrev L.L., Pykhov P.A. et al. *Sectoral and regional problems of the formation of energy security*. Ekaterinburg: Institute of Economics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2008, 384 p. (in Russian)]
- [3] *Доктрина Энергетической безопасности Российской Федерации*. Москва, 2019, 19 с. [Doctrine of Energy Security of the Russian Federation. Moscow, 2019, 19 p. (in Russian)]
- [4] Воропай Н.И., Клименко С.М., Сендеров С.М., Славин Г.Б. и др. *Основные положения и методология мониторинга и индикативного анализа энергетической безопасности России и ее регионов*. Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 1998, 69 с. [Voropai N.I., Klimenko S.M., Senderov S.M., Slavin G.B. et al. *Main provisions and methodology of monitoring and indicative analysis of energy security of Russia and its regions*. Irkutsk: IESM SB RAS, 1998, 69 p. (in Russian)]
- [5] Косяков С.А., Литвак В.В., Силич В.А., Силич М.П., Яворский М.И. Технология обеспечения энергетической безопасности. *Энергосбережение и энергетическая безопасность регионов России: тез. докл.* Томск: ТПУ, 2000, 6-18 [Kosyakov S.A., Litvak V.V., Silich V.A., Silich M.P., Yavorsky M.I. Energy Security Technology, *Energy Saving and Energy Security of Russian Regions: thesis reports*. Tomsk: TPU, 2000, 6-18 (in Russian)]
- [6] Воропай Н.И., Татаркин А.И., Богатырев Л.Л., Боцегов А.В. и др. *Надежность топливно-и энергоснабжения и живучесть систем энергетики регионов России*. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2003, 392 с. [Voropai N.I., Tatarkin A.I., Bogatyrev L.L., Bochegov A.V. et al. *Reliability of fuel and energy supply and survivability of energy systems in Russian regions*, Yekaterinburg: Ural Publishing House. University, 2003, 392 p. (in Russian)]
- [7] Сендеров С.М., Смирнова Е.М. Методы оценки и анализ уровня энергетической безопасности, *Академия энергетики*, 2009, 6(32), 30-40 [Senderov S.M., Smirnova E.M. Assessment methods and analysis of the level of energy security, *Academy of Energy*, 2009, 6 (32), 30-40 (in Russian)]
- [8] Киушкина В.Р. Эффекты вовлечения ВИЭ в мониторинге состояния энергетической безопасности северных и арктических зон РФ, *Энергетическая политика*, 2018, 4 (Синергия Арктики), 109-117 [Kiushkina V.R. The effects of RES involvement in monitoring the state of energy security of the northern and Arctic zones of the Russian Federation, *Energy Policy*, 2018, 4 (Synergy of the Arctic), 109-117 (in Russian)]
- [9] Lukutin B., Kiushkina V. Intellectual energy security monitoring of decentralized systems of electricity with renewable energy sources, *E3S Web of Conferences Green Energy and Smart Grids*, 2018, 69, [02002]. [Electronic resource] – Access: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186902002>
- [10] Бушуев В.В., Воропай Н.И., Сендеров С.М., Саенко В.В. О доктрине энергетической безопасности России, *Экономика региона*, 2012, 2, 42-43 [Bushuev V.V., Voropai N.I., Senderov S.M., Saenko V.V. On the Doctrine of Energy Security of Russia, *Regional Economics*, 2012, 2, 42-43 (in Russian)]